

**Translation of the attached sheet (Japanese text portions only)**  
**Background Art Information**

<b>Patent No./Publication</b>	<b>Inventor(s)/Author(s)</b>	<b>Date etc</b>					
<p>Jpn. Pat. Appln. KOKAI Publication No. 11-185236; Published July 9, 1999; "Perpendicular Magnetic Recording and Magnetic Recording Apparatus"; Hitachi, Ltd.</p>							
<p><b>*Concise Explanation</b></p> <p>This prior art concerns a magnetic film using Co as a main component and containing at least one kind selected from the group consisting of Cr, Fe, Mo, V, Ta, Pt, Si, B, Ir, W, Hf, Nb, Ru and rare-earth elements. The present invention differ from this prior art in that a magnetic layer contains Pt and requires an under layer including Co and Pt.</p>							
<p>Jpn. Pat. Appln. KOKAI Publication No. 63-148411; Published June 21, 1988; "Longitudinal Magnetic Recording Medium"; Hitachi, Ltd.</p>							
<p><b>*Concise Explanation</b></p> <p>This prior art concerns a longitudinal magnetic recording medium and is therefore different from the present invention. The prior art is featured in that its magnetic layer contains Co and Cr and includes at least one kind selected from Ta, Mo and W. The prior art does not disclose a magnetic layer containing Pt, such as that of the present invention, nor does it mention an under layer containing Co and Pt.</p>							
<p><b>*Concise Explanation</b></p>							
<p><b>Prior Applications of Inventors or of Kabushiki Kaisha Toshiba (Assignee)</b></p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 25%;"><b>Application No.</b></td> <td style="width: 25%;"><b>Toshiba Reference</b></td> <td style="width: 15%;"><b>Country</b></td> <td style="width: 15%;"><b>Agent</b></td> <td style="width: 20%;"><b>memo</b></td> </tr> </table>			<b>Application No.</b>	<b>Toshiba Reference</b>	<b>Country</b>	<b>Agent</b>	<b>memo</b>
<b>Application No.</b>	<b>Toshiba Reference</b>	<b>Country</b>	<b>Agent</b>	<b>memo</b>			
<p><b>Inventor(s)</b></p>							
<p><b>Signature &amp; Date</b></p>							

<p><b>Patent engineer's comment on inventor's information or patent engineer's information</b></p> <p style="text-align: center;">None</p> <p style="text-align: center;">*</p>
---

# PERPENDICULAR MAGNETIC RECORDING MEDIUM AND MAGNETIC RECORDER

Patent Number: JP11185236  
 Publication date: 1999-07-09  
 Inventor(s): HONDA YUKIO; HIRAYAMA YOSHIYUKI; INABA NOBUYUKI; ITOU KIYONARI; FUTAMOTO MASAOKI  
 Applicant(s): HITACHI LTD  
 Requested Patent: ☐ JP11185236  
 Application Number: JP19970349174 19971218  
 Priority Number(s):  
 IPC Classification: G11B5/66; G11B5/85  
 EC Classification:  
 Equivalents: JP2967070B2

## Abstract

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To decrease medium noises in perpendicular magnetic recording.  
**SOLUTION:** The saturation magnetization  $M_s$  and residual magnetization  $M_r$  not subjected to diamagnetic field correction in the magnetization-magnetic field curve in the direction of the easy magnetization of the magnetic field 14 of this magnetic recording medium satisfy the relation  $M_r/M_s \geq 10.8$ . The crystal magnetic anisotropy energy  $E$  of the magnetic field 14 is approximated by  $E \approx K_1 \sin^2 \theta + K_2 \sin^4 \theta + K_3 \sin^6 \theta$  ( $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ : uniaxial magnetic anisotropy,  $\theta$ : the angle formed by spontaneous magnetization and the easy axis of the magnetic field). The magnetic torque  $L$  per unit volume measured under conditions under which the magnetization of the magnetic field 14 is nearly satd. has the uniaxial magnetic anisotropy described by  $L \approx -(K_1 + K_2 - 2\pi M_s^2) \sin^2 \theta + (K_2 \sin^4 \theta)/2$ . The relation  $K_2/(K_1 + K_2) \leq 0.3$  exists between  $K_1$  and  $K_2$ . This recorder uses such recording medium.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-185236

(43)公開日 平成11年(1999) 7月9日

(51)Int.Cl.<sup>4</sup>G 1 1 B 5/66  
5/85

識別記号

F I

G 1 1 B 5/66  
5/85

Z

審査請求 有 請求項の数 8 O L (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平9-349174

(22)出願日 平成9年(1997)12月18日

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所  
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 本多 幸雄

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 平山 義幸

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 稲葉 信幸

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

(74)代理人 弁理士 平木 祐輔

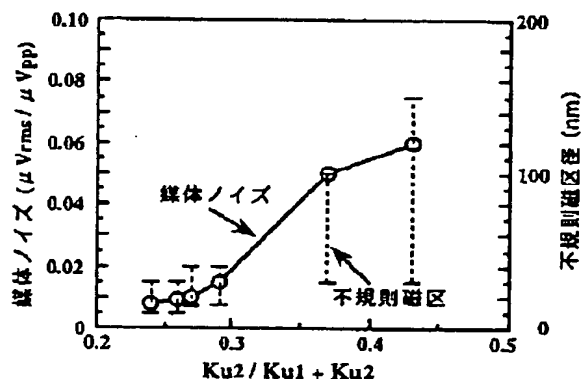
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 垂直磁気記録媒体および磁気記録装置

(57)【要約】

【課題】 垂直磁気記録における媒体ノイズを低減する。

【解決手段】 磁性膜の磁化容易方向の磁化-磁界曲線において飽和磁化 $M_s$ と反磁界補正を加えない残留磁化 $M_r$ が $M_r/M_s \geq 0.8$ の関係を満たし、磁性膜の結晶磁気異方性エネルギー $E$ が、 $E = Ku_1 \sin^2 \theta + Ku_2 \sin^4 \theta + Ku_3 \sin^6 \theta$  ( $Ku_1, Ku_2, Ku_3$ : 一軸異方性定数、 $\theta$ : 自発磁化と磁性膜の容易軸とのなす角) で近似され、磁性膜の磁化がほぼ飽和した条件で測定した単位体積当たりの磁気トルク $L$ が $L = -(Ku_1 + Ku_2 - 2\pi M_s^2) \sin 2\theta + (Ku_2 \sin 4\theta) / 2$  で記述される一軸磁気異方性を有し、 $Ku_1, Ku_2$ の間に $Ku_2 / (Ku_1 + Ku_2) \leq 0.3$ なる関係がある垂直磁気記録媒体を用いる。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に形成した磁性膜の磁化容易軸が基板面に略垂直方向に配向し、前記磁性膜の磁化容易方向の磁化-磁界曲線において、飽和磁化  $M_s$  と反磁界補正を加えない残留磁化  $M_r$  が  $M_r/M_s \geq 0.8$  の関係を有する垂直磁気記録媒体であって、前記磁性膜は、該磁性膜の結晶磁気異方性エネルギー  $E$  が  $E = Ku_1 \sin^2 \theta + Ku_2 \sin^4 \theta + Ku_3 \sin^6 \theta$  ( $Ku_1, Ku_2, Ku_3$ : 一軸異方性定数、 $\theta$ : 自発磁化と磁性膜の容易軸とのなす角) で近似され、該磁性膜の磁化がほぼ飽和した条件で測定した単位体積当たりの磁気トルク  $L$  が  $L = -(Ku_1 + Ku_2 - 2\pi Ms^2) \sin^2 \theta + (Ku_2 \sin^4 \theta) / 2$  で記述される一軸磁気異方性を有する薄膜であり、前記  $Ku_1, Ku_2$  は  $Ku_2 / (Ku_1 + Ku_2) \leq 0.3$  なる関係を満たすことを特徴とする垂直磁気記録媒体。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の垂直磁気記録媒体において、前記基板上に少なくとも 1 層の構造制御用の下地層を形成し、前記下地層の上に磁性膜を形成してなることを特徴とする垂直磁気記録媒体。

【請求項 3】 請求項 2 に記載の垂直磁気記録媒体において、前記基板上に形成した前記下地層および前記磁性膜がエピタキシャル的に成長した膜であることを特徴とする垂直磁気記録媒体。

【請求項 4】 請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項記載の垂直磁気記録媒体において、前記磁性膜は、Co を主成分とし、これに Cr, Fe, Mo, V, Ta, Pt, Si, B, Ir, W, Hf, Nb, Ru, Ni および希土類元素の中から選ばれる少なくとも 1 種類の元素を含んでなる材料からなり、六方稠密構造を有することを特徴とする垂直磁気記録媒体。

【請求項 5】 請求項 1 ~ 4 項に記載の垂直磁気記録媒体において、前記磁性膜の垂直磁気異方性定数  $Ku$  ( $Ku = Ku_1 + Ku_2$ ) と飽和磁化  $M_s$  の間に  $Ku > 2\pi Ms^2$  の関係が成り立つことを特徴とする垂直磁気記録媒体。

【請求項 6】 請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項記載の垂直磁気記録媒体において、前記一軸異方性定数  $Ku_1$  および  $Ku_2$  は、前記磁性膜に対する印加磁界  $H$  を変化して測定された磁気トルク曲線をフーリエ解析し、前記のフーリエ解析より求められた  $Ku_1, Ku_2$  と印加磁界の逆数 ( $1/H$ ) の関係において、 $1/H = 0$  に外挿して得られた値であることを特徴とする垂直磁気記録媒体。

【請求項 7】 請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項記載の垂直磁気記録媒体と、前記垂直磁気記録媒体を保持するための保持具と、前記垂直磁気記録媒体に対して情報を記録再生するための磁気ヘッドと、前記磁気ヘッドと前記垂直磁気記録媒体との相対位置を移動するための移動手段と、これらを制御するための制御手段とを含むことを特徴とする磁気記録装置。

2

【請求項 8】 基板上に下地層をエピタキシャル的に成長させる工程と、前記下地層の上に、Co を主成分とし、これに Cr, Fe, Mo, V, Ta, Pt, Si, B, Ir, W, Hf, Nb, Ru, Ni および希土類元素の中から選ばれる少なくとも 1 種類の元素を含んだ材料からなり、磁化容易軸が前記基板面に略垂直方向に配向した六方稠密構造を有する磁性膜であって、該磁性膜は、磁化容易方向の磁化-磁界曲線において、飽和磁化  $M_s$  と反磁界補正を加えない残留磁化  $M_r$  が  $M_r/M_s \geq 0.8$  の関係を有し、該磁性膜の結晶磁気異方性エネルギー  $E$  が  $E = Ku_1 \sin^2 \theta + Ku_2 \sin^4 \theta + Ku_3 \sin^6 \theta$  ( $Ku_1, Ku_2, Ku_3$ : 一軸異方性定数、 $\theta$ : 自発磁化と磁性膜の容易軸とのなす角) で近似され、該磁性膜の磁化がほぼ飽和した条件で測定した単位体積当たりの磁気トルク  $L$  が  $L = -(Ku_1 + Ku_2 - 2\pi Ms^2) \sin^2 \theta + (Ku_2 \sin^4 \theta) / 2$  で記述される一軸磁気異方性を有し、前記一軸異方性定数  $Ku_1, Ku_2$ 、垂直磁気異方性定数  $Ku$  ( $Ku = Ku_1 + Ku_2$ ) および飽和磁化  $M_s$  が、 $Ku_2 / (Ku_1 + Ku_2) \leq 0.3$ 、および、 $Ku > 2\pi Ms^2$  を同時に満足する磁性膜をエピタキシャル的に成長させる工程とを含むことを特徴とする垂直磁気記録媒体の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、再生ノイズが小さく、記録磁化の安定性に優れた高密度磁気記録に好適な垂直磁気記録媒体および磁気記録装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 現在、実用的に用いられている磁気記録方式は、磁気記録媒体面に平行に、かつ磁極の N 極と N 極、S 極と S 極を互いに突き合わせる方向に磁化して磁気記録を行う面内磁気記録方式である。面内磁気記録において線記録密度を向上するには、記録時の反磁界の影響を減少するために記録媒体である磁性膜の残留磁化  $B_r$  と磁性膜厚  $t$  の積を小さくし、保磁力を増大する必要がある。また磁化遷移から発生する媒体ノイズを減少するために、磁性膜の磁化容易軸を基板面に平行に配向させると共に、結晶粒径の制御が必要である。磁性薄膜の結晶配向性や粒径を制御するために、基板と磁性膜の間に構造制御用の下地層を形成する。

【0003】 面内磁気記録方式の磁性膜としては、Co を主成分とし、これに Cr, Ta, Pt, Rh, Pd, Ti, Ni, Nb, Hf などを添加した Co 合金薄膜が用いられる。磁性薄膜を構成する Co 合金は、主として六方稠密格子構造 (以下、hcp 構造という) の材料を用いる。Co 合金薄膜はこの結晶の c 軸、 $\langle 00.1 \rangle$  方向に磁化容易軸を持ち、この磁化容易軸を面内方向に配向させる。磁性薄膜の結晶配向性や粒径を制御するために、基板と磁性膜の間に構造制御用の下地層を形成する。下地層としては、Cr を主成分とし、これに Ti,

3

Mo, V, W, Pt, Pdなどを添加した材料を用いる。磁性薄膜は真空蒸着法やスパッタリング法により形成する。

【0004】前記したように、面内磁気記録において媒体ノイズを小さくし線記録密度を向上するには、磁性膜の残留磁化 $B_r$ と磁性膜厚 $t$ の積を小さくする必要があり、このために磁性膜の膜厚を20nm以下まで薄くし結晶粒の微細化が検討されている。しかし、このような磁性結晶粒を微細化した媒体では、熱揺らぎにより記録磁化が減少する極めて重大な問題があり、高密度記録の10障害となっている。

【0005】一方、垂直磁気記録方式は、記録媒体面に垂直に、かつ隣り合う記録ビットが互いに反平行になるように磁区を形成する記録する方式であり、記録ビットの境界での反磁界が小さくなり高密度記録ほど磁化が安定に保たれやすい利点があり、高密度磁気記録の有力な手段の一つである。面内記録による高密度記録のためには、前記したように磁性膜の厚さを20nm以下にする必要があり、この場合、熱的な揺らぎにより記録磁化が消失する問題がある。これに対して垂直記録では、面内20記録に比べて磁性膜厚を厚くでき、記録磁化を安定に保持できる利点がある。垂直記録により線記録密度を向上するためには、記録ビット内部および磁化遷移から発生する媒体ノイズを減少し、磁性膜の磁化容易軸を基板面に垂直に配向させると共に、磁化容易軸の配向分散を小さくし、結晶粒径の制御が必要である。

【0006】垂直磁気記録方式の磁性膜としては、Coを主成分とし、これにCr, Ta, Pt, Rh, Pd, Ti, Ni, Nb, Hfなどを添加したCo合金薄膜が用いられる。磁性薄膜を構成するCo合金は、主として30hcp構造の材料を用いる。Co合金薄膜は、この結晶のc軸、 $\langle 001 \rangle$ 方向に磁化容易軸を持ち、この磁化容易軸を垂直方向に配向させる。磁性薄膜は真空蒸着法やスパッタリング法により形成する。磁気記録したときの線記録密度や再生出力を向上し、再生ノイズを減少させて磁気記録特性を向上するために、上記のCo合金薄膜のc軸の垂直配向性を向上すると共に、結晶粒径の制御が必要であり、このために基板と磁性膜の間に構造制御用の下地層を形成するなどの改善策が従来から行われている。

【0007】しかしながら、数Gb/in<sup>2</sup>以上、特に10Gb/in<sup>2</sup>以上の超高密度磁気記録を実現するには、線記録密度の向上の他に再生信号に含まれるノイズ、特に媒体の微細構造に起因する媒体ノイズの低減が重要である。このためには磁性薄膜の結晶配向に加えてより高度な薄膜構造の制御が必要である。媒体ノイズの低減のためには従来様々の改良が試みられている。例えば、(1)磁性粒子間の磁氣的相互作用を小さくするためにCoCr系合金中の非磁性Crを結晶粒界や粒内に偏析させる方法、(2)スパッタリングガス圧力を制御50

4

することにより磁性粒子を形態的に孤立させる方法などである。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】前述のような媒体構造の改良により媒体ノイズの低減が促進されたが、垂直磁気記録における媒体ノイズの起源であるところの、磁化方向と逆向きに形成される逆磁区およびこれに伴う不規則磁区を低減する効果は未だ十分には得られていない。本発明の目的は、上述した従来技術の欠点を解消し、基板上に形成する垂直磁化膜の垂直磁気異方性や結晶配向を制御することによって、特に磁気異方性の分散を小さくし、磁気記録したときの微細な磁区構造を制御することにより、優れた低ノイズ特性と記録磁化の安定性を有し、超高密度磁気記録に好適な垂直磁気記録媒体および磁気記録装置を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明においては、基板上に磁気異方性の大きな結晶粒からなる磁性膜を形成し、前記磁性結晶粒の磁化容易軸を基板面に垂直方向に高配向させると共に、磁化容易軸の分散を小さくした媒体構造を付与することにより前記目的を達成する。すなわち、本発明による垂直磁気記録媒体は、基板上に形成した磁性膜の磁化容易軸が基板面に略垂直方向に配向し、磁性膜の磁化容易方向の磁化-磁界曲線において、飽和磁化 $M_s$ と反磁界補正を加えない残留磁化 $M_r$ が $M_r/M_s \geq 0.8$ の関係を有する垂直磁気記録媒体であって、前記磁性膜は、 $K_{u1}$ ,  $K_{u2}$ ,  $K_{u3}$ を一軸異方性定数、 $\theta$ を自発磁化と磁性膜の容易軸とのなす角とするとき、磁性膜の結晶磁気異方性エネルギー $E$ が次式【数1】で近似され、また、磁性膜の磁化がほぼ飽和した条件で測定した単位体積当たりの磁気トルク $L$ が次式【数2】で記述される一軸磁気異方性を有する薄膜であり、 $K_{u1}$ ,  $K_{u2}$ は $K_{u2}/(K_{u1}+K_{u2}) \leq 0.3$ なる関係を満たすことを特徴とする。

【0010】

【数1】 $E \approx K_{u1} \sin^2 \theta + K_{u2} \sin^4 \theta + K_{u3} \sin^6 \theta$

【数2】 $L \approx -(K_{u1} + K_{u2} - 2\pi M_s^2) \sin^2 \theta + (K_{u2} \sin^4 \theta) / 2$

前記垂直磁気記録媒体は、基板上に少なくとも1層の構造制御用の下地層を形成し、その下地層の上に磁性膜を形成するのが好ましい。このとき、下地層および磁性膜はエピタキシャル的に成長した膜であるのが好ましい。

【0011】磁性膜は、Coを主成分とし、これにCr, Fe, Mo, V, Ta, Pt, Si, B, Ir, W, Hf, Nb, Ru, Niおよび希土類元素の中から選ばれる少なくとも1種類の元素からなる合金又は化合物を含んでなる材料からなり、六方稠密構造を有する。磁性膜の垂直磁気異方性定数 $K_u$  ( $K_u = K_{u1} + K_{u2}$ )と飽和磁化 $M_s$ の間には、 $K_u > 2\pi M_s^2$ の関係

5

が成り立つことが好ましい。

【0012】前記一軸異方性定数 $K_{u1}$ および $K_{u2}$ は、磁性膜に対する印加磁界 $H$ を変化して測定された磁気トルク曲線をフーリエ解析し、そのフーリエ解析より求められた $K_{u1}$ 、 $K_{u2}$ と印加磁界の逆数( $1/H$ )の関係において、 $1/H=0$ に外挿して得られた値とすることができる。また、本発明による磁気記録装置は、前述の垂直磁気記録媒体と、垂直磁気記録媒体を保持するための保持具と、垂直磁気記録媒体に対して情報を記録再生するための磁気ヘッドと、磁気ヘッドと垂直磁気記録媒体との相対位置を移動するための移動手段と、これらを制御するための制御手段とを含む。

【0013】また、本発明による垂直磁気記録媒体の製造方法は、基板上に下地層をエピタキシャル的に成長させる工程と、下地層の上に、 $Co$ を主成分とし、これに $Cr$ 、 $Fe$ 、 $Mo$ 、 $V$ 、 $Ta$ 、 $Pt$ 、 $Si$ 、 $B$ 、 $Ir$ 、 $W$ 、 $Hf$ 、 $Nb$ 、 $Ru$ 、 $Ni$ および希土類元素の中から選ばれる少なくとも1種類の元素を含んだ材料からなり、磁化容易軸が基板面に略垂直方向に配向した六方稠密構造を有する磁性膜であって、該磁性膜は、磁化容易方向の磁化-磁界曲線において、飽和磁化 $M_s$ と反磁界補正を加えない残留磁化 $M_r$ が $M_r/M_s \geq 0.8$ の関係を有し、該磁性膜の磁化がほぼ飽和した条件で測定した単位体積当たりの磁気トルク $L$ が $L = (K_{u1} + K_{u2} - 2\pi M_s^2) \sin 2\theta + (K_{u2} \sin 4\theta) / 2$  ( $K_{u1}$ 、 $K_{u2}$ : 前記【数1】で定義される一軸異方性定数、 $\theta$ : 自発磁化と磁性膜の容易軸とのなす角) で記述される一軸磁気異方性を有し、前記一軸異方性定数 $K_{u1}$ 、 $K_{u2}$ 、垂直磁気異方性定数 $K_u$  ( $K_u = K_{u1} + K_{u2}$ ) および飽和磁化 $M_s$ が、 $K_{u2} / (K_{u1} + K_{u2}) \leq 0.3$ 、および、 $K_u > 2\pi M_s^2$ を同時に満足する磁性膜をエピタキシャル的に成長させる工程とを含むものである。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。図1は、本発明による磁気記録装置の一例の説明図である。磁気記録装置は、磁気ディスク1、記録再生用の磁気ヘッド2、磁気ヘッドを支持するサスペンション3、アクチュエータ4、ボイスコイルモータ5、記録再生回路6、位置決め回路7、インターフェース制御回路8などで構成される。磁気ディスク1は、ガラス基板、 $Si$ 基板、 $NiP$ 被覆アルミニウム基板、カーボン基板など円盤状の基板上に磁性膜の結晶配向性などの構造制御用の下地層、その上に形成された磁性膜、および保護膜などで構成され、保護膜上には潤滑膜を被覆した磁気記録媒体である。

【0015】磁性膜は、 $Co$ を主成分としこれに $Cr$ 、 $Fe$ 、 $Mo$ 、 $V$ 、 $Ta$ 、 $Pt$ 、 $B$ 、 $Ir$ 、 $W$ 、 $Hf$ 、 $Nb$ 、 $Ru$ 、 $Ni$ 、および希土類元素の中から選ばれた少なくとも1種類以上の元素を含む材料からなる六方稠密

6

構造を基本構造とし、磁性膜の磁化容易軸を基板面に垂直方向に配向させる。磁性膜の磁化容易軸を基板面に垂直に高配向し、かつ垂直磁気異方性の分散の小さい垂直記録媒体を得るために、磁性膜の構造制御用下地層を基板と磁性膜の間に設ける。構造制御用の下地層としては、非磁性もしくは常磁性の $CoCr$ 合金や $Ti$ 、 $TiCr$ 合金あるいはこれらに $Pt$ 、 $Ru$ 、 $Ta$ 、 $Mo$ 、 $Pd$ 、 $V$ 、 $Nb$ 、 $Zr$ などを添加した $hcp$ 構造の多結晶膜、微結晶膜もしくは非晶質状下地層膜や $Si$ 、 $Ge$ などの非晶質状下地層を用いる。

【0016】磁気ヘッド2は、スライダー、この上に設けられた磁気記録用リング型ヘッドの磁極および記録信号再生用の磁気抵抗効果型、巨大磁気抵抗効果型、もしくはスピバルブ型素子あるいは磁気トンネル型素子で構成される。磁気記録時のトラック端部の記録磁区の乱れを低下するために、記録用ヘッドのトレーリング側、リーディング側磁極のトラック両端部は揃っていることが望ましい。再生用ヘッドのトラック幅は、前記の記録用ヘッド磁極のトラック幅より狭いことが、記録トラック両端部から生じる再生ノイズを低減するのに好適である。磁気ヘッド2は、サスペンション3によって支持され、かつ磁気ヘッド2が磁気ディスク1の内周側から外周側に向かって移動したときに生ずるヨー角を補正する機能が設けてある。

【0017】図2は、垂直磁気記録媒体の構造を模式的に示す断面図である。図2(a)は2層の下地層を用いるものであり、基板11の上に、第1下地層12、第2下地層13、磁性膜14、保護膜15を順次積層した構造を有する。また、図2(b)は1層の下地層を用いるものであり、基板11の上に、下地層12、磁性膜14、保護膜15を積層した構造を有する。

【0018】基板11としては、 $Si$ 基板、ガラス基板、 $NiP$ 被覆 $Al$ 基板、カーボン基板、あるいは高分子基板などを用いることができるが、ここでは表面に熱酸化 $Si$ 膜を形成した円盤状の $Si$ ディスクを用いた例により説明する。ここに述べる例では、超高真空 $DC$ マグネトロンスパッタリング装置により媒体を作製した。洗浄した基板11をスパッタリング装置に設置し、続いて基板11を約 $230^\circ C$ に加熱して、磁性膜の結晶粒径や磁気異方性の制御を行うための下地層を形成した。下地層は、この上に形成する磁性膜の種類により任意に選ぶことができ、また下地層は、同一材料もしくは異種の材料からなる層を少なくとも1層以上積層して用いることができる。磁性膜としては、六方稠密構造、体心立方格子構造、面心立方格子構造、あるいは斜方晶構造の材料を用いることができる。例えば、磁性膜として $Co$ を主成分とする $hcp$  (六方稠密構造) 構造の材料を用いる場合、下地層は最も一般的には $Ti$ 、 $Ta$ 、 $Ru$ 、 $Hf$ 、 $Co$ 、などの $hcp$ 構造の材料を主成分とし、これに $Cr$ 、 $V$ 、 $W$ などを添加した材料からなる多結晶膜や

7

微結晶膜または非晶質状膜、あるいはSi、Geを始めとする非晶質状膜を選択することが可能である。この下地層上に引き続き同一真空中で記録膜となる磁性膜14、保護膜15を順次形成した。

【0019】本発明の一実施例の媒体Aは、図2(a)に略示する構造を有し、基板11上に膜厚30nmの非晶質状Ge膜からなる第1下地層12を形成し、この上に膜厚20nmのhcp構造のCo-35at%Cr非磁性合金からなる第2下地層13を形成し、続いて膜厚30nmのCo-19at%Cr-10at%Pt合金磁性膜14、および膜厚5nmのカーボン保護膜15を形成した。媒体Aは、Arガス圧2mTorr、DCマグネトロンスパッタリング法により作製した。

【0020】第1下地層12として用いたGe膜は、X線回折によるマクロ的構造は非晶質であったが、薄膜表面の反射電子回折によれば非晶質的な回折線の中に一部結晶的な構造が観察され、非晶質状構造の膜表面の一部に規則的な配列を有した膜と判定された。第2下地層表面および磁性膜表面を原子間力顕微鏡(AFM)で観察した結果、表面の起伏の振幅および起伏の周期はいずれも10nm以下の平坦な薄膜であった。

【0021】本発明の他の実施例の媒体Bは、図2(a)に略示する構造を有し、下地層12、13は媒体Aと同じ材料構成とし、磁性膜14としてCo-15at%Cr-4at%Ta合金を用いた。本発明の他の実施例の媒体Cは、図2(a)に略示する断面構造を有し、基板11上に膜厚30nmのhcp構造のTi-10at%Cr合金膜からなる多結晶性の第1下地層12を形成し、この上に膜厚20nmのhcp構造のCo-35at%Cr非磁性合金からなる第2下地層13を形成し、続いて膜厚30nmのCo-19at%Cr-10at%Pt合金磁性膜14、および膜厚5nmのカーボン保護膜15を形成した。薄膜はいずれもArガス圧2mTorrで、DCマグネトロンスパッタリング法により作製した。第2下地層表面および磁性膜表面を原子間力顕微鏡(AFM)で観察した結果、表面の起伏の振幅および起伏の周期はいずれも10nm以下の平坦な薄膜であった。

【0022】本発明の他の実施例の媒体Dは、図2(a)に略示する断面構造を有し、下地層12、13は媒体Cと同じ材料構成とし、磁性膜14としてCo-15at%Cr-4at%Ta合金を用いた。上記媒体A、B、CおよびDにおける磁性膜は、hcp構造を有し、その成長方位は<002>方位が基板面に垂直に配向し、いずれも下地層界面からエピタキシャル的に成長した薄膜であることがX線回折法および電子顕微鏡観察により確認された。

【0023】磁性膜への非磁性CrやTaなどの添加により磁性結晶粒の粒界や粒内に非磁性層や弱磁性層を局部的に偏析させることができ、磁性粒子の磁氣的孤立性

8

を向上する効果が電子顕微鏡を用いた組成分析などで確認された。また、Ptの添加により磁性膜の磁気異方性を向上できる。前記各実施例では媒体表面の保護膜15として、いずれも膜厚5nmカーボン膜を用いたが、これ以外にB、Siカーバイド、窒化Si、ダイヤモンド状カーボンなどを用いてもよい。

【0024】次に、以下のようにして比較用の媒体を準備した。比較用の媒体Eは、図2(a)に略示する断面構造を有し、基板11上に膜厚30nmのhcp構造のTi-10at%Cr合金膜からなる多結晶性の第1下地層12を形成し、この上に膜厚20nmのhcp構造のCo-35at%Cr合金からなる非磁性合金からなる第2下地層13を形成した。この下地層は、スパッタリング用のArガス圧を15mTorrと高いガス圧とし、DCマグネトロンスパッタリング法により作製した。下地層の上に、続いて膜厚30nmのCo-19at%Cr-10at%Pt合金磁性膜14、および膜厚5nmのカーボン保護膜15を形成した。磁性膜14は、Arガス圧2mTorrのDCマグネトロンスパッタリング法により作製した。媒体Eにおける第2下地層表面および磁性膜表面を原子間力顕微鏡(AFM)で観察した結果、表面の起伏の振幅および起伏の周期はいずれも10~50nmの範囲であった。

【0025】比較用の媒体Fは、図2(b)に略示する断面構造を有し、基板11上に膜厚30nmのhcp構造のTi-10at%Cr合金膜からなる多結晶性の第1下地層12を形成し、この上に膜厚30nmのCo-19at%Cr-10at%Pt合金磁性膜14、および膜厚5nmのカーボン保護膜15を形成した。下地層12および磁性膜14は、いずれもArガス圧2mTorrのDCマグネトロンスパッタリング法により作製した。媒体Fにおける下地層表面および磁性膜表面を原子間力顕微鏡(AFM)で観察した結果、表面の起伏の振幅および起伏の周期は、下地層表面では10nm以下、磁性膜表面では10~25nmであった。

【0026】比較用媒体EおよびFの磁性膜14は、いずれもhcp構造を有し、その成長方位は<002>方位が基板面にほぼ垂直に配向し、いずれも下地層表面からエピタキシャル的に成長した薄膜であることがX線回折法および電子顕微鏡観察により確認された。上記各媒体の磁気特性を振動試料型磁力計(VSM)で測定した。磁性膜の垂直磁気異方性Kuは、各々の試料につき磁気トルク曲線を測定し、この単位体積当たりの磁気トルク曲線をフーリエ解析して、結晶磁気異方性エネルギーEに対する前記〔数1〕および単位体積当たりの磁気トルクLに対する前記〔数2〕の関係から、磁性膜の膜面垂直方向の一軸磁気異方性定数Ku1、Ku2を求めた。

【0027】また、Ku1、Ku2の値を更に正確に求めるために、磁気トルク曲線の測定に際して磁性膜に印加

する外部磁界Hの大きさを15～5kOeの範囲で変化して測定し、各々の印加磁界Hの元で測定された一軸磁気異方性定数 $K_{u1}$ 、 $K_{u2}$ の値と印加磁界の逆数( $1/H$ )の関係性を求めた。すなわち、 $K_{u1}$ 、 $K_{u2}$ の値対 $1/H$ の関係性を示すプロットにおいて、 $1/H=0$ に外挿して得られた値を、各々の磁性膜の $K_{u1}$ 、 $K_{u2}$ の値と定義した。

【0028】下記の表1に、上記本発明の実施例の媒体および比較用の媒体の特性を比較して示す。表1において、 $\Delta\theta_{50}$ は結晶軸の配向性を評価する指標の一つであり、ここではCoCr合金結晶の<002>回折X線ピークのロッキング曲線を測定し、その半値幅で示した。また、磁気記録した試料および残留磁化状態の磁化状態を磁気力顕微鏡(MFM:Magnetic Force Microscope)観察し、媒体のノイズの原因となる不規則磁区の構造の大きさを評価した。不規則磁区の径は、磁気力顕微

\*鏡により媒体表面の磁化状態を観察し、表面に形成された不規則構造の磁区と同じ面積を有する円の直径で示した。磁化状態の観察は、磁気力顕微鏡の他にスピン偏極走査顕微鏡、ピクチャー観察法、ローレンツ型電子顕微鏡などを用いて行ってもよい。

【0029】磁気記録はリング型磁気ヘッド(トラック幅 $2\mu\text{m}$ 、ギャップ長 $0.2\mu\text{m}$ )を使用し、再生は磁気抵抗効果型ヘッド(MRヘッド)を使用し、記録再生時の磁気スペーシング(媒体磁性膜の表面と磁気ヘッドの磁極間の距離) $30\text{nm}$ として、媒体の記録再生特性を測定した。媒体ノイズ $N/S_0$ は、線記録密度 $250\text{kFCI}$ で測定したノイズを低線記録密度( $5\text{kFCI}$ )における再生信号出力で規格化した値で表示した。

【0030】

【表1】

	媒体 A	媒体 B	媒体 C	媒体 D	媒体 E	媒体 F
$\Delta\theta_{50}(\text{deg.})$	2.3	3.2	2.3	3.4	4.8	4.1
$M_s(\text{emu/cc})$	480	460	480	460	470	475
$H_c(\text{Oe})$	2100	1700	2150	1800	2010	1950
$M_r/M_s$	0.95	0.85	0.96	0.86	0.75	0.94
$K_{u1}(\text{erg/cc})$	$2.2 \times 10^6$	$1.1 \times 10^6$	$2.3 \times 10^6$	$1.2 \times 10^6$	$1.3 \times 10^6$	$1.5 \times 10^6$
$K_{u2}(\text{erg/cc})$	$7 \times 10^5$	$4 \times 10^5$	$8 \times 10^5$	$5 \times 10^5$	$1.0 \times 10^6$	$9 \times 10^5$
$K_u (=K_{u1} + K_{u2})$ (erg/cc)	$2.9 \times 10^6$	$1.5 \times 10^6$	$3.1 \times 10^6$	$1.7 \times 10^6$	$2.3 \times 10^6$	$2.4 \times 10^6$
$2\pi M_s^2(\text{erg/cc})$	$1.45 \times 10^6$	$1.33 \times 10^6$	$1.45 \times 10^6$	$1.33 \times 10^6$	$1.39 \times 10^6$	$1.42 \times 10^6$
$K_{u2}/K_{u1} + K_{u2}$	0.24	0.27	0.26	0.29	0.43	0.37
不規則磁区の径(nm)	10~30	15~40	10~30	15~40	30~150	30~100
媒体ノイズ $N/S_0$ ( $\mu\text{Vrms}/\mu\text{Vpp}$ )	0.008	0.01	0.009	0.015	0.06	0.05

【0031】表1から明らかな様に、磁性膜の膜面垂直方向の角型比 $M_r/M_s$ が大きい(特に0.8以上)ことに加えて、磁性膜の膜面垂直方向の一軸異方性定数の比 $K_{u2}/(K_{u1}+K_{u2})$ を小さくすることにより、磁性膜の磁気異方性の分散を減少できる効果があり、その結果、媒体ノイズの原因となる不規則磁区の径と分布幅を小さくでき、媒体ノイズ低減に好適であることがわかる。

【0032】また、飽和磁化 $M_s$ と反磁界補正を加えていない残留磁化 $M_r$ の比 $M_r/M_s$ を0.8以上にすることにより、磁気記録した磁化を長時間安定に保持することが可能となり、特に垂直磁気記録で反磁界効果が高

く最も過酷な条件、残留磁化状態(または直流消去状

態)でも、20%以下の小さな減衰率に押さえることが可能であった。  
【0033】図3は、表1に示した媒体A～Fの特性の中で、一軸異方性定数の比 $K_{u2}/(K_{u1}+K_{u2})$ に対する媒体ノイズと不規則磁区の径の関係を示したものである。この図から明らかなように、 $K_{u2}/(K_{u1}+K_{u2}) \leq 0.3$ の条件を満たす媒体では、不規則磁区の径と分布幅を小さくでき、媒体ノイズを低減する効果が大きいことがわかる。 $K_{u2}/(K_{u1}+K_{u2}) \leq 0.25$ の条件を満たす場合には $10\text{Gb/in}^2$ 以上の超高密度磁気記録が可能である。

【0034】図4は、表1に示した媒体A～Fの記録磁



11

化状態を磁気力顕微鏡で観察し、比較した結果を示す。垂直磁気記録は媒体全面を直流消去した後に、リング型の磁気ヘッドにより行った。図は、直流消去領域31に記録磁区32を記録した状態を示している。図において、明暗のコントラストは、磁化の平均の向きが同じであることを示している。図に示した磁化遷移33の揺らぎが小さいほど、記録磁区32内部に形成される不規則磁区34の径と分布幅および密度が小さいほど、媒体ノイズを小さくできる。この不規則磁区34は、主として反磁界の影響により磁化の向きと逆方向に形成される逆磁区と呼ばれるものであり、これら不規則磁区34は、記録再生時の媒体ノイズの原因となり、また高密度記録の障害になる。

【0035】図4(a)は、表1と図3に示した様に、一軸異方性定数の比 $K_{u2}/(K_{u1}+K_{u2})$ が最も小さい媒体AおよびCに見られる典型的な磁化状態を示す。図から明かなように、鮮明な記録磁区32が形成されており、また記録ビットの境界にできる磁化遷移33の揺らぎも小さく、揺らぎの振幅は約30nmと微細であり、不規則磁区34の径と分布も小さい。図4(b)は、媒体BとDの磁化状態を示す。この場合、鮮明な記録磁区32が形成されているが、媒体A、Cに比べて不規則磁区34の径とその分布がやや大きい。これは媒体B、Dにおける $M_r/M_s$ 比と $K_{u2}/(K_{u1}+K_{u2})$ の値が媒体A、Cに比べて劣るためである。

【0036】図4(c)は、媒体Eの磁化状態を示す。この場合、磁化遷移33の揺らぎが大きく、また記録磁区内部に大きな不規則磁区が無数に形成されている。これは下地層表面の起伏が大きく、この上に形成した磁性膜の磁気異方性の分散、 $K_{u2}/(K_{u1}+K_{u2})$ が大きくなったためである。図4(d)は、媒体Fの磁化状態を示す。この場合、媒体Eに比べて磁化遷移33の揺らぎや不規則磁区の径は小さいが、無数の不規則磁区が観察された。これは薄い単層の下地層の上に直接磁性膜

12

\*を形成したため、磁性膜の結晶配向や粒径の制御が十分ではなく、その結果磁性膜の磁気異方性の分散が大きくなったためである。

### 【0037】

【発明の効果】本発明によると、媒体ノイズの原因となる記録磁区の磁化遷移の揺らぎ構造が小さく、かつ磁性膜に作用する反磁界による不規則磁区の形成を大幅に低減でき、その結果、媒体ノイズの低減と記録磁化の安定性を確保することができ、高密度の磁気記録に好適な垂直磁気記録媒体およびこれを用いた磁気記録装置を実現することができる。

### 【図面の簡単な説明】

【図1】磁気記録装置の説明図。

【図2】垂直磁気記録媒体の断面模式図であり、(a)は本発明による磁気記録媒体A、B、C、Dおよび比較用の媒体Eの断面模式図、(b)は比較用媒体Fの断面模式図。

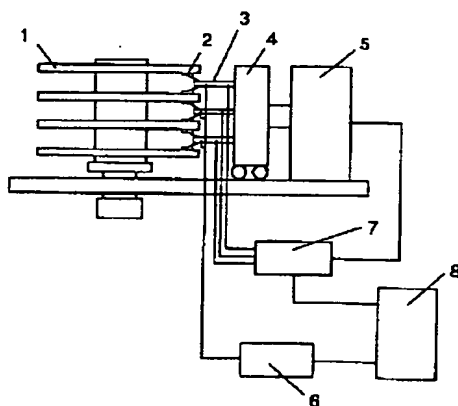
【図3】本発明による磁気記録媒体と比較用媒体のノイズおよび不規則磁区の比較図。

【図4】本発明による磁気記録媒体と比較用媒体の記録磁化状態の比較図であり、(a)は本発明による磁気記録媒体Aおよび媒体Cの記録磁化状態の説明図、(b)は本発明による磁気記録媒体Bおよび媒体Dの記録磁化状態の説明図、(c)は比較用媒体Eの記録磁化状態の説明図、(d)は比較用媒体Fの記録磁化状態の説明図。

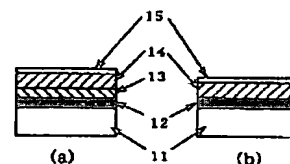
### 【符号の説明】

1…磁気ディスク、2…磁気ヘッド、3…サスペンション、4…アクチュエータ、5…ボイスコイルモータ、6…記録再生回路、7…位置決め回路、8…インターフェース制御回路、11…基板、12…第1下地層、13…第2下地層、14…磁性膜、15…保護膜、31…直流消去領域、32…記録磁区、33…磁化遷移、34…不規則磁区

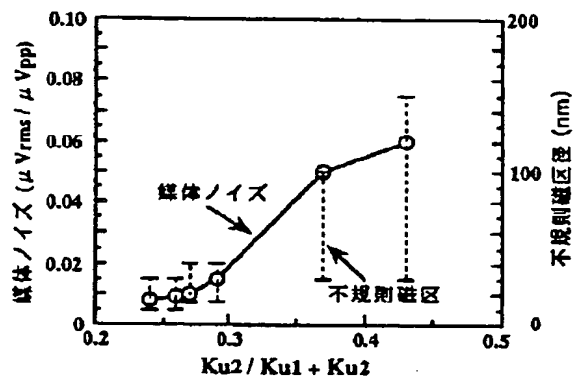
【図1】



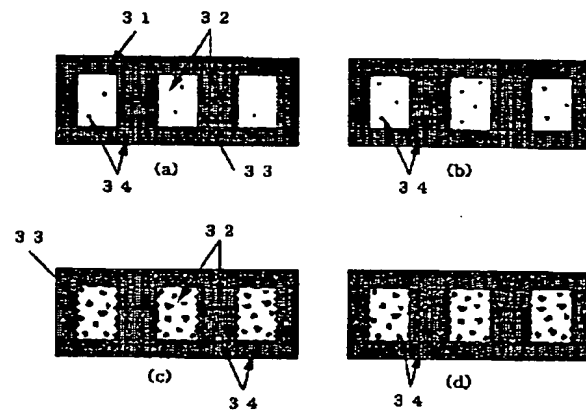
【図2】



【図 3】



【図 4】



フロントページの続き

(72)発明者 伊藤 研也  
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 二本 正昭  
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内